

Konvektion über komplexem Gelände: Vergleich von LM-Simulationen mit Messungen während VERTIKATOR

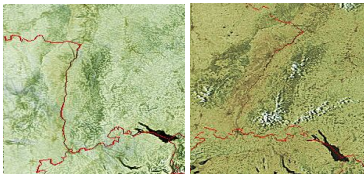
Christian Barthlott, Ulrich Corsmeier und Christoph Kottmeier

Einleitung

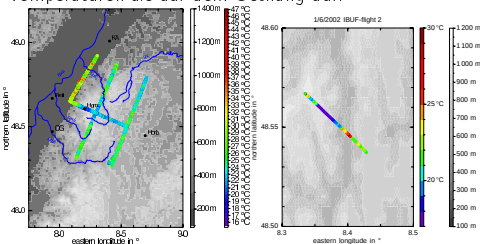
Orographisch gegliederte Gebiete beeinflussen die Entstehung von Konvektion auf vielfältige Weise. Obwohl die meteorologischen Bedingungen auf einer größeren Skala sehr ähnlich sind, ruft der Einfluss der Orographie eine starke Variabilität in der Ausprägung hochreichender Konvektion hervor. Im Rahmen des vom BMBF geförderten AFO2000-Projekts VERTIKATOR (Vertikaler Austausch und Orographie) wurde im Sommer 2002 mit einer Vielzahl von Messsystemen ein umfangreiches Datenmaterial gewonnen, um die auslösenden Prozesse für Konvektion möglichst vollständig, dreidimensional und zeitabhängig zu erfassen. Während der Schwarzwaldkampagne wurde die komplexe Struktur der Atmosphäre vor und während der konvektiven Prozesse mit Messungen von 5 Flugzeugen in mehreren Höhen erfasst, die durch Radar-, Lidar und Turbulenzmessungen am Boden koordiniert wurden. Vertikalprofile von Temperatur, Wind und Feuchte wurden an zwei Radiosondenstationen und mit einem Dropsondensystem erfasst.

Erdoberflächentemperaturen

An Bord der Do-128 des Instituts für Flugführung der Uni Braunschweig befand sich zur Messung der Erdoberflächentemperatur das Strahlungspyrometer KT15. Der 1. Juni 2002 war einer von sieben Intensivmessstagen innerhalb der Schwarzwaldkampagne von VERTIKATOR. Es herrschten am Boden nahezu ungestörte Einstrahlungsbedingungen vor, lediglich über Teilen des Schwarzwaldes und der Schwäbischen Alb trat am späten Nachmittag flache Cumulus-Konvektion auf (NOAA-Satellitenbilder: 8 und 15 UTC).

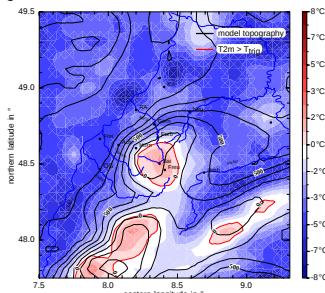


Im Rheintal stellen sich vornehmlich hohe Temperaturen um 40 °C ein, während im Schwarzwald tiefere Temperaturen um 25 °C auftreten. Am nach Westen geneigten Hang des Murgtals (rechte Abb.) treten am frühen Nachmittag aufgrund der Exposition zur Sonne deutlich höhere Temperaturen als auf dem Osthang auf.



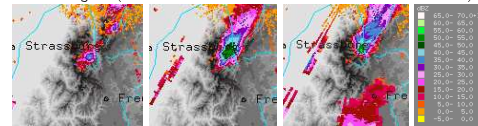
LM-Simulationen

Anhand der stündlichen LM-Analysen aus dem Datenassimilationszyklus des DWD wurde die Auslösetemperatur bestimmt und mit den simulierten Temperaturen in 2 m Höhe verglichen.



Für den Intensivmessstag vom 19. Juni 2002 zeigt sich, dass im Modell die Auslösung von Konvektion für einen großen Teil des Nord-Schwarzwaldes ab 10 UTC prognostiziert wird. Im Vergleich zu den Messungen ist dies ein zeitlich zu frühes Überschreiten auf einem räumlich zu großem Gebiet. Aufgrund dieser Bedingungen wird demnach auch in einem großen Bereich Wolkenbildung stattgefunden, was wiederum zu Niederschlägen in diesen Gebieten führt.

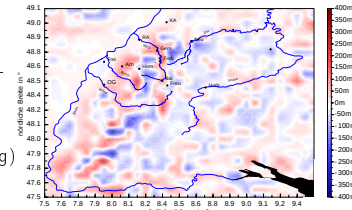
Hier offenbart sich ein bekanntes Problem des Lokal-Modells unter konvektiven Bedingungen: der Niederschlag tritt zu großflächig und auch in der Intensität reduziert auf. In der Realität entwickelte sich gegen 13 UTC lediglich eine einzige Konvektionszelle über dem oberen Murgtal mit einer Lebensdauer von ca. 90 Minuten, wie die Radar-Reflektivitäten vom Karlsruher Niederschlagsradar zeigen (von links nach rechts: 13, 13:30, 14 UTC).



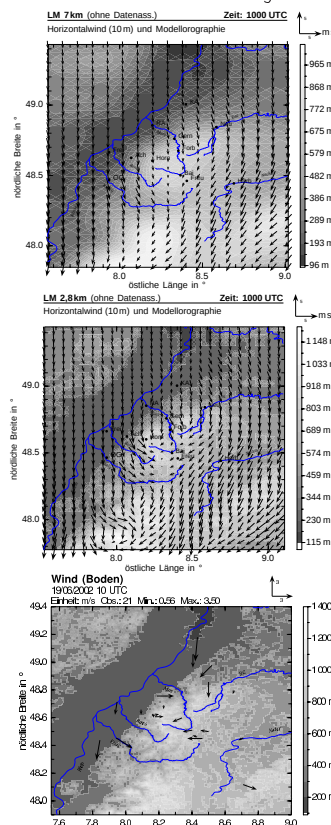
Windfelder am 19. Juni 2002

Neben einem Auslöseprozess durch Erhitzung der Erdoberfläche oder Hebung des Luftpakets ist eine ausreichende Feuchte erforderlich, damit das Cumulus-kondensationsniveau erreicht wird. Über komplexer Orographie wirken zusätzlich thermisch angetriebene Sekundärzirkulationen auf die Konvektionsentwicklung ein, da sie häufig zu Konvergenzgebieten über den Bergkämmen führen und dort Hebungsprozesse initiieren. Die Modellorographie des LM (7 km) weist jedoch eine deutliche Glättung des orographisch stark gegliederten Geländes auf, so dass sich diese Prozesse nicht realitätsnah entwickeln können.

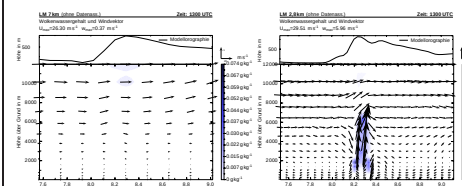
Differenz zw. der Modellorographie und einem orogr. Datensatz (3"-Auflösung)



Aufgrund dieses Umstands stellt sich die Frage, wie gut die Simulation des Windfeldes im Vergleich zu den Messungen ist und ob eine höhere räumliche Auflösung für das Modell entscheidende Verbesserungen bewirkt.



Bei der höheren Auflösung (mittlere Abb.) werden die gemessenen regionalen Windsysteme (untere Abb.) wesentlich besser wiedergegeben. Um 13 UTC tritt südöstlich der Hornsgrinde eine Konvektionszelle auf, die vom Modell mit der niedrigeren Auflösung nicht simuliert wird, wie die Vertikalschnitte des Windvektors und des Flüssigwassergehalts zeigen (nächste Spalte oben).

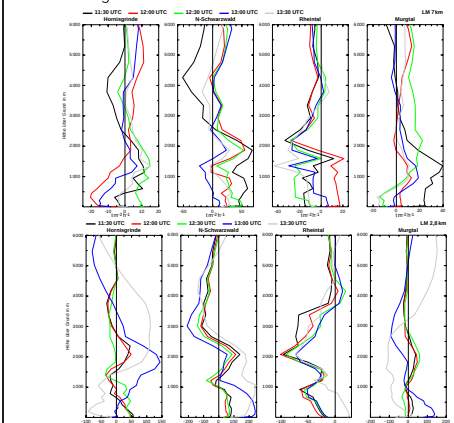


Massenbilanzrechnungen

Um die bodennahe Konvergenz als auslösenden Faktor für Konvektion weiter zu untersuchen, wurde ein Massenbilanzverfahren für Kontrollvolumina über einer Mittelgebirgsregion angewendet und die Massenflüsse als Volumenintegral ermittelt. Nach Umwandlung in ein Oberflächenintegral lässt es sich in Mantel- und Deckfläche (MF ; DF) aufteilen:

$$\iiint_V \nabla \cdot (\bar{\rho} \mathbf{v}) dV = A_{MF} \cdot \sum (\bar{\rho} \cdot \mathbf{v}_{\perp}) + A_{DF} \cdot \sum (\bar{\rho} \cdot \mathbf{w})$$

Im Kontrollgebiet Hornsgrinde herrscht nachts Divergenz durch Kaltluftabflüsse in die Täler vor, während sich im Tagesgang eine positive Massenbilanz (Nettokonvergenz) einstellt (Höhe der Box: 3 km). Die Werte des höher aufgelösten Modells, das die lokalen Windsysteme recht gut wiedergibt, sind aber etwa um einen Faktor 4 größer als das Ergebnis der 7 km Version.



Auch die Profile der summierten Massenflüsse für vier Kontrollgebiete weisen markante Unterschiede in der bodennahen Konvergenz beider Modellversionen auf.

Folgerungen

- Kleinräumige Variationen der Erdoberflächentemperatur beeinflussen die Auslösung von Konvektion entscheidend. Dabei ist neben der Landnutzung und Bodenfeuchte, vor allem die Exposition zur Sonne von besonderer Bedeutung. Je nach Hangneigung und Ausrichtung erfolgt die Erwärmung sowohl zeitlich versetzt als auch verstärkt oder vermindert im Vergleich zu orographisch ungliedertem Gelände.
- Als Folge der stark geglätteten Orographie können sich thermisch angetriebene Sekundärzirkulationen im LM (7 km) nicht oder zumindest nicht realitätsnah entwickeln.
- Obwohl die Auslösetemperatur beim LM (7 km) großräumig überschritten wird, treten auf Grund des Fehlens weiterer Auslöseprozesse (z. B. bodennahe Konvergenz) keine konvektiven Erscheinungen auf. Erst in der höher aufgelösten Version wird eine konvektive Zelle und damit verbundene Niederschläge simuliert, die im zeitlichen und räumlichen Ablauf relativ gut mit den Beobachtungen übereinstimmt.
- Daraus lässt sich folgern, dass das LM in der 7 km Version die bodennahe Konvergenz nicht zufrieden stellend darstellt und somit ein wichtiger Aspekt der Konvektionsauslösung durch die niedrige Auflösung und Glättung der Orographie verloren geht. Eine Verbesserung der Simulationen lässt sich durch eine höhere räumliche Modell-Auflösung erreichen.